

鄱阳湖相软土区域路基沉降特性研究

Research on the Settlement Characteristics of Roadbed in the Soft Soil Area of Poyang Lake

詹钢洪 陈幼华 刘子毅 余勇强

Ganghong Zhan Youhua Chen Ziyi Liu Yongqiang Yu

上饶市国有资产发展集团有限公司 中国·江西 上饶 334000

Shangrao Communications Construction Investment Group Co., Ltd., Shangrao, Jiangxi, 334000, China

摘要:近年来,中国的高速公路、铁路以及桥梁工程大量涌现,面临的主要问题是软土次固结沉降量大,持续的时间长的工后沉降。论文以鄱余大桥为依托,根据室内土工试验准则,对鄱阳湖淤泥质土进行了一系列的基本物理实验以及一维固结蠕变试验,并建立了数值模型预测公路长期沉降变形趋势,分析了鄱阳湖软土蠕变特性、软土应变速率与时间对数的关系以及次固结系数与固结压力的关系。

Abstract: In recent years, a large number of expressway, railway and bridge projects have emerged in China, and the main problem is the large settlement of soft soil and the long lasting settlement. This paper is based on the Poyu Bridge, and according to the indoor geotechnical test criteria, a series of basic physical experiments and one-dimensional consolidation creep tests were conducted on the muddy soil of Poyang Lake, a numerical model was established to predict the long-term settlement deformation trend of highways, analyzed the creep characteristics of soft soil in Poyang Lake, the relationship between strain rate and logarithm of time, and the relationship between secondary consolidation coefficient and consolidation pressure.

关键词: 湖相软土; 蠕变; 次固结系数

Keywords: lacustrine soft soil; creep; secondary consolidation coefficient

DOI: 10.12346/etr.v5i12.8914

1 引言

由于软土的工程性质较差,极易发生地基的不均匀沉降,且次固结沉降在工后沉降中占有重要作用,所以长期以来,在较深厚软土上修建建筑物的工后次固结沉降一直是工程界较为关注的问题之一。鄱阳湖地区软土的工程性质较差,论文结合鄱余特大桥梁工程对鄱阳湖相淤泥质土的次固结特性进行了研究。

2 试验内容

2.1 试样土样

试验土样取自鄱阳县城西南侧,土样类型为淤泥质土,属于第四系全新统冲湖积层,具有含水量大、渗透性差、易压缩以及强度低等特点。通过现场取土进行一系列室内土工试验得到土样基本物理性质指标。

2.2 试验方案

蠕变试验所用的仪器为WG-1B三联中压固结仪为南京土壤仪器厂所产。试样高度为2cm,横截面积为30cm²。试验上下加透水板双面透水。

一维固结试验有两种加载方法,即逐级加载、分别加载。

逐级加载是指从头到尾用的都是同一个试件,从低荷载逐级加到试验所需的高荷载。分别加载需要在多台完全一样的试验仪器且试验环境、条件以及土样完全一样的情况下完成,每台仪器对应不同的荷载^[1]。

由上述可知,分别加载对试样以及试验条件相对较为严格,很好地做到分别加载是有一定的难度的。一方面,有多台完全一样的仪器是不容易的;另一方面,控制完全相同的试验条件以及试样更为困难,难免会出现误差。而逐级加载的优点是只需使用同一个试样,有效减小了数据的离散型。

【作者简介】詹钢洪(1973-),男,中国江西上饶人,本科,高级工程师,从事公路的规划、设计、前期工作、项目管理、项目建设、验收移交、运营等研究。

因此，论文所采用的加载方式为分级加载，25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、400kPa 逐级加载，即加荷比为 1。读数标准为 0s、15s、1min、2min、4min、6min、9min、12min、16min、20min、25min、35min、45min、60min、1h30min、2h、4h、6h、12h、24h，之后每 24h 读一次数，当试样 24h 内的变形量小于 0.005mm 时认为试样蠕变基本完成，即可加下一级荷载。

3 试验结果分析

根据土工试验方法标准，以时间对数为横坐标，孔隙比为纵坐标，绘制 e-lgt 曲线。曲线后段较直部分的斜率即为次固结系数。计算公式如下：

$$C_{\alpha} = \frac{-\Delta e}{\lg(t_2/t_1)} \quad (1)$$

式中： C_{α} ——次固结系数；

Δe ——相应时间 t_1 - t_2 孔隙比 e 的差值；

t_1 、 t_2 ——次固结某一时间 (min)。

3.1 蠕变特性分析

主固结之后的长期次固结变形即为蠕变变形，轴向应变与时间的关系曲线，可以得出鄱阳湖软土试样在发生固结过程中，前期土样沉降变形量较大，之后随着时间的变化而变得缓慢，最后曲线慢慢稳定接近水平线。这就说明土体在前期是以变形量较大的主固结为主。

通过实验得出，土体在 25kPa、50kPa、100kPa、200kPa 以及 400kPa 作用下时轴向应变与时间的关系曲线都是从一开始的竖直快速上升，再变为几乎为直角的弯曲段，最后慢慢地变平缓。这是因为土体在竖直压力的作用下，土孔隙被瞬间压缩，孔隙中的水被迅速排出，从而导致了土体的瞬间压缩；随后在恒定的竖向压力作用下，由于土颗粒之间的结合水膜变薄黏结性增强，致使关系曲线出现平缓阶段（衰减蠕变）^[2]。

3.2 竖向应变与时间的关系

如图 1 所示为应变速率与时间对数的关系曲线，可以看出在 25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、400kPa 压力下应变速率与时间对数呈现出了较好的线性关系。

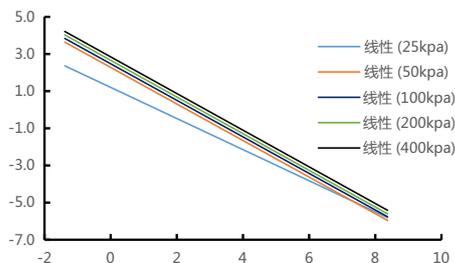


图 1 应变速率与时间对数的关系曲线

相关系数 R 均大于 0.9 (R > 0.8 即为高度相关)，拟合结果见表 1。

表 1 应变速率与时间对数拟合方程

轴向压力 /kPa	拟合方程	相关系数 (R)
25	$\ln(\dot{\epsilon}/t)=-0.8376\ln(t)+1.2027$	0.997
50	$\ln(\dot{\epsilon}/t)=-0.9841\ln(t)+2.2770$	1.000
100	$\ln(\dot{\epsilon}/t)=-0.9840\ln(t)+2.4748$	1.000
200	$\ln(\dot{\epsilon}/t)=-0.9875\ln(t)+2.6600$	1.000
400	$\ln(\dot{\epsilon}/t)=-0.9869\ln(t)+2.8463$	1.000

拟合方程如下：

$$\ln(\dot{\epsilon}/t)=a\ln t+b \quad (2)$$

其中 a、b 为拟合参数，a 的物理意义为应变速率随时间变化的回归系数，b 的物理意义为初始应变速率特征值。在实际工程应用中可以拟合方程求得鄱阳淤泥质土在 25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、400kPa 压力下不同时间的应变大小。

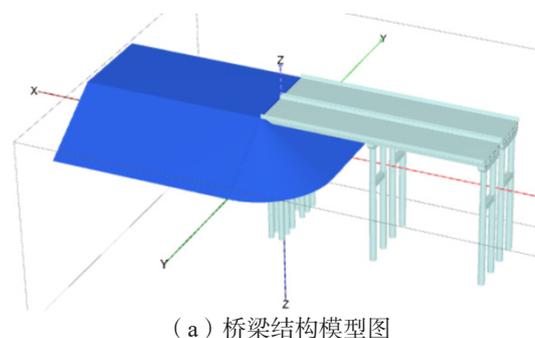
3.3 次固结系数 C_{α} 与固结压力的关系

中国和其他国家关于软土蠕变相关文献有两种相反的结论：第一种为次固结系数 C_{α} 与固结压力无关^[3]；第二种为次固结系数 C_{α} 先随着固结压力增大而增大，随后由于土的蠕变能力变弱，次固结系数 C_{α} 随着固结压力增大而减小。根据绘制的 e-lgt 曲线，再由式 (1) 求得 5 组不同轴向压力下的次固结系数 C_{α} 次固结系数 C_{α} 与固结压力的关系图。

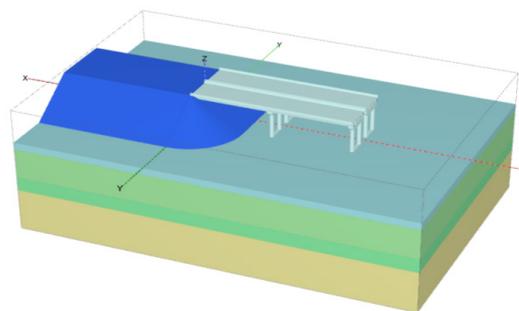
4 数值模拟分析

4.1 模型建立

依据实际工况，模型尺寸取 150m × 100m × 50m (x × y × z)。其中，x 方向为桥梁的纵向，y 方向桥梁的横向，z 方向为竖向，桥梁有限元模型如图 2 所示。



(a) 桥梁结构模型图



(b) 桥梁总体模型图

图 2 桥梁有限元模型

桥梁采用实体单元模拟,高出地表10m,高出地表部分桥桩直径为1.6m,地下部分桥桩直径为1.8m,总长为33m,桥梁每隔30m设置一道。

4.2 模型参数选取

现有实践和研究表明,开挖过程中土体处的应变一般处于小应变状态,HSS模型具有土的剪切模量随应变的增加,可以反映静水压力和软黏土的膨胀性。这样,加载和重载可以区分土体的卸荷刚度,因此采用HSS模型。

4.3 数值分析

为分析路基随着时间变化的沉降变形性状并结合前文所研究内容,选择路基沉降持续时间分别为1年、5年、10年、15年、20年作为参数变量进行计算,提取沿路基长度方向道路中间沉降数据,分析路基表面发生的沉降变化规律,路基的沉降量随着距桥梁的距离的增大而逐渐增大,且增大趋势随距离的增大而逐渐减弱,桥梁对路基沉降的主要影响范围集中在距桥梁5m的范围内,路基沉降的最小值发生在路基与桥梁的交界处;公路运营1年、5年、10年、15年、20年后,路基顶面最大沉降量分别为3.9cm、5.4cm、5.9cm、6.4cm、6.5cm,路基沉降值随着时间的增长而增长,主要在第一年内,路基表面已完成了大部分沉降,随后,沉降速率逐渐减慢,最后趋于稳定。

5 结论

论文以鄱阳湖淤泥质土为研究对象,对其开展了一维固结蠕变试验,探讨了鄱阳湖地区淤泥质土的次固结特性,主要得到了以下结论。

①鄱阳湖淤泥质土具有较明显的非线性蠕变,瞬时变形非常大,随着时间的增长逐渐变缓,最终趋于稳定。

②应变速率的对数与时间对数具有高度相关的线性关系,在实际工程中可以根据所拟合的方程求得鄱阳淤泥质土在不同压力下不同时间的应变大小。

③次固结系数与固结压力有关,在25~400kPa压力下次固结系数随着固结压力的增大整体有上升的趋势。

④采用HSS模型建立路基沉降模型能够很好地预测鄱阳湖淤泥质土长期蠕变特征,路基沉降随着距桥梁的距离增大而减小、随着时间的增长而增大,最终均会趋于稳定。

参考文献

- [1] 朱墩.上海地区软土次固结特性试验研究[J].低温建筑技术,2020,42(9):88-92.
- [2] 宋运涛.滨海淤泥土层区工后地基沉降的预测及治理研究[D].郑州:郑州大学,2013.
- [3] 殷宗泽,张海波,朱俊高,等.软土的次固结[J].岩土工程学报,2003(5):521-526.